

УДК 621.1.016.4

В.С.ФОКИН, д-р техн. наук, В.М.КОШЕЛЬНИК,  
А.В.КОШЕЛЬНИК, кандидаты техн. наук, Л.И.ЗБАРАЗ, Д.Ю.ДАНИЛОВ  
*Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРСОДЕРЖАНИЯ СМЕСИ НА ВЫХОДЕ ИЗ ПЛАСТИНЧАТОГО ИСПАРИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Приведена методика определения паросодержания на выходе из пластинчатого испарителя. С использованием метода анализа размерностей получено уравнение, описывающее связь величины паросодержания смеси с безразмерными параметрами, которые определяют его значение. Даны рекомендации для выбора расчетных зависимостей по определению параметров, реализация которых обеспечивает наибольшую эффективность выпарных аппаратов при использовании испарителя с плоскими каналами.

Процессы кипения жидкости в каналах различной формы широко используются в теплотехнологических установках различного целевого назначения, в том числе в испарителях систем теплоснабжения, выпарных аппаратах, системах испарительного охлаждения высокотемпературных агрегатов и т.д. [1-4]. Необходимость определения параметрических характеристик испарителей возникает как при математическом моделировании, так и проведении экспериментальных исследований.

Как известно, испарители с пластинчатой греющей камерой имеют, как правило, замкнутый циркуляционный контур и относятся к аппаратам с многократной циркуляцией (см. рисунок). Особенности развития процессов кипения в плоских вертикальных каналах испарителя пластинчатого типа рассмотрены нами ранее [1]. Практический интерес представляет определение паросодержания смеси на выходе из пластинчатого испарителя. Эти вопросы являются также актуальными для определения условий работы систем испарительного охлаждения высокотемпературных агрегатов, например, стекловаренных печей ванного типа, парогенерирующие контуры которых работают в сходных условиях.

Одной из важных характеристик работы таких аппаратов является кратность циркуляции жидкости по контуру аппарата, величина которой определяет паросодержание смеси  $\chi$  при движении рабочего тела в каналах и особенно на выходе из испарителя. Между кратностью циркуляции жидкости и паросодержанием смеси существует следующая зависимость:

$$\chi = \frac{1}{n_{\text{Ц}}} = \frac{W}{G_{\text{Ц}}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{Ц}}$  – расход жидкости по контуру аппарата, кг/с;  $W$  – расход выпаренной воды, кг/с;  $n_{\text{Ц}}$  – кратность циркуляции.

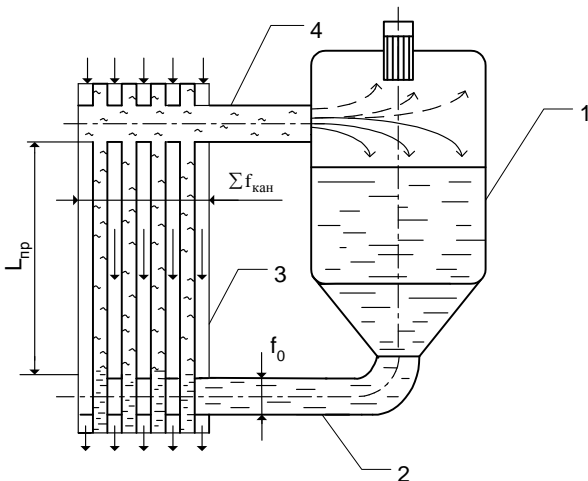


Схема циркуляционного контура испарителя:

1 – сепаратор; 2 – обратная циркуляционная труба; 3 – камера пластинчатого испарителя;  
4 – пароводяной патрубкок

Характерной особенностью пластинчатых испарителей является малое проходное сечение плоских вертикально расположенных каналов, в которых протекает процесс кипения. В этом случае имеет место резкий рост величины паросодержания смеси по высоте каналов и на выходе из них. Это обстоятельство при неправильном выборе размеров элементов циркуляционного контура может вызвать большое гидравлическое сопротивление контура в целом и повлиять на развитие процессов кипения жидкости и, соответственно, снизить эффективность работы теплообменника в целом. Отсюда возникла необходимость изучения факторов, определяющих массовое паросодержание смеси в каналах и на выходе из щелевых каналов пластинчатых испарителей, что имеет большое значение при проведении теплотехнических и гидравлических расчетов аппаратов и технологических линий [4, 5].

При исследовании процессов кипения в трубчатых выпарных аппаратах нормализованной конструкции и кипятильников ректификационных колонн были выявлены факторы, влияющие на кратность циркуляции раствора по контуру выпарного аппарата, и получена рас-

четная зависимость для ее определения. Однако, как показали результаты проведенных экспериментальных исследований, для циркуляционных контуров испарителей с пластинчатой греющей камерой применение этой зависимости дает большие отклонения от замеренных в процессе проведения эксперимента значений. Поэтому нужно уточнить ранее полученные зависимости для определения кратности циркуляции жидкости по циркуляционному контуру пластинчатого испарителя и массового паросодержания смеси на выходе из теплообменника. При построении зависимости для нахождения кратности циркуляции авторы исходили из того факта, что функциональная зависимость кратности циркуляции от определяющих ее параметров имеет тот же вид, что и для трубчатых испарителей, т.е. она может быть представлена в виде

$$n_{ц} = f(\delta; v''; v; \rho''; \rho; \sigma; c; r; \lambda; L_{пр}; d_{эк}; \sum f_k; f_{ц}; \Delta t; t_s), \quad (2)$$

где  $\delta = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho - \rho''}}$  – размер отрывного диаметра парового пузыря;  $\rho''$ ,

$\rho$  – плотность паровой и жидкой фаз;  $v''$ ,  $v$  – кинематическая вязкость паровой и жидкой фаз;  $\sigma$  – поверхностное напряжение жидкости;  $\sum f_k$ ,  $f_{ц}$  – суммарная площадь сечения каналов пластинчатого испарителя и обратной циркуляционной трубы;  $d_{эк}$  – эквивалентный диаметр канала;  $L_{пр}$  – приведенная длина канала;  $t_r$  – температура горячего теплоносителя;  $t_s$  – температура кипения жидкости;  $\Delta t = t_r - t_s$  – разность температур;  $r$  – теплота парообразования;  $C$  – теплоемкость жидкости;  $\lambda$  – теплопроводность жидкости.

Решение зависимости (2) с использованием хорошо зарекомендовавшего себя метода анализа размерностей позволило получить уравнение, устанавливающее связь искомой величины паросодержания смеси с определяющими ее безразмерными инвариантами:

$$n_0 = c \left( \frac{\sum f_k}{f} \right)^{y_1} \cdot \left( \frac{d_{эк}}{L_{пр}} \right)^{y_2} \cdot \left( \frac{v}{v''} \right)^{y_3} \cdot \left( \frac{d_{эк}}{\delta} \right)^{y_4} \cdot \left( \frac{r}{c \cdot \Delta t} \right)^{y_5} \cdot Pr^{y_6}. \quad (3)$$

Значения коэффициента  $c$  и показателей степеней  $Y_1$ - $Y_6$  могут быть найдены в результате проведения экспериментальных исследований. В этом случае следует выбрать реальный для практического применения диапазон изменения отношения параметров, представленных

в данном уравнении.

Как показывает анализ условий работы трубчатых испарителей систем теплоснабжения и работы теплообменника с плоской пластинчатой греющей камерой, выполненные в УкрНИИХиммаше [4], исследования необходимо провести в следующем диапазоне изменения параметров:

$$0,006 \leq \frac{d_{\text{эк}}}{L_{\text{пр}}} \leq 0,017; 1,05 \leq \frac{d_{\text{эк}}}{\delta} \leq 1,147; 0,0037 \leq \frac{v}{v''} \leq 0,021;$$
$$0,0087 \leq \frac{c \cdot \Delta t}{r} \leq 0,039; 1,43 \leq \text{Pr} \leq 4,31. \quad (4)$$

Таким образом, проведение экспериментов и обработка полученных опытных данных по представленной методике позволит получить расчетную зависимость для определения паросодержания смеси на выходе из каналов пластинчатой греющей камеры. В этом случае будут созданы предпосылки для точного и надежного расчета циркуляционного контура пластинчатого испарителя. Важной задачей дальнейших исследований должно быть изучение влияния формы поверхности нагрева на паросодержание смеси с учетом известных преимуществ пластинчатых испарителей [6].

1. Фокин В.С., Кошельник В.М., Збараз Л.И. Особенности теплообмена при кипении жидкости в щелевых каналах // Вестник НТУ "ХПИ". – 2001. – №7. – С.261–266.

2. Головченко О.А., Фокин В.С., Марченко Л.Н., Аксельрод Л.С. К расчету размеров зоны развитого кипения в выпарных аппаратах нормализованной конструкции // Химическое машиностроение. Вып.77. – М.: НИИХиммаш, 1977. – С. 36-40.

3. Кошельник В.М. Долженко Е.Ю., Кошельник А.В., Киуила И.Г. Перспективные направления энерготехнологического комбинирования на основе стекловаренных печей // Інтегровані технології та енергозбереження. – 1999. – №2. – С. 31-39.

4. Фокин В.С., Саакянц И.С., Данилова Р.С. Исследование работы выпарного аппарата с разборкой пластинчатой греющей камерой // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1972. – №4.

5. Малышев Г.А. Методика расчета циркуляций в кипятильниках ректификационных колонн // Труды ЛенНИИХиммаша. – Л., 1973. – №7. – 93 с.

6. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. / Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

*Получено 14.01.2003*